昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，June 2008，51(6)：628 – 634 ISSN 0454-6296

米蛾对三种赤眼蜂的适合性及被寄生后卵内游离氨基酸含量的变化

李元喜[1,*]，戴华国[1]，符文俊[2]

(1. 南京农业大学农业部病虫监测与治理重点开放实验室，南京 210095；
2. 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所，上海 200025)

摘要：寄生发生前寄生蜂的寄生行为及寄生发生后寄生蜂的生长发育情况能够反映出寄主对寄生蜂的适合性，而寄生蜂对寄主营养物质的吸收和利用是寄生蜂完成发育的生理基础。为了从寄生蜂利用寄主营养能力的角度探讨寄主对不同种赤眼蜂适合性变化的原因，本文观察了以米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton 卵为寄主时拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani、松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi* Matsumura 和玉米螟赤眼蜂 *T. ostriniae* Pang *et* Chen 的寄生行为及发育和存活情况，测定了被寄生米蛾卵内游离氨基酸的含量。结果发现，玉米螟赤眼蜂的产卵时间为 84.9 s，显著长于拟澳洲赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂的产卵时间。拟澳洲赤眼蜂检测寄主所需时间为 30.8 s，显著长于玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂所需时间，但从每寄主卵中羽化出的拟澳洲赤眼蜂数量显著高于松毛虫赤眼蜂及玉米螟赤眼蜂寄生的结果。3 种赤眼蜂卵 + 幼虫的发育历期间不存在显著差异，但卵-成虫的发育历期间存在显著差异。玉米螟赤眼蜂幼虫期和预蛹期的死亡率均显著高于拟澳洲赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂相应虫期的死亡率。这些结果表明：米蛾卵对松毛虫赤眼蜂及拟澳洲赤眼蜂的适合性高于对玉米螟赤眼蜂的适合性。未被寄生的米蛾卵内游离氨基酸的总量在 24 ~ 96 h 时间段内从开始的 2.194 mg/mL 逐渐下降到 1.565 mg/mL，而被寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量均出现先升高后下降的现象。被松毛虫赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量在 48 h 达到最高值，分别为 4.239 mg/mL 和 3.222 mg/mL，被玉米螟赤眼蜂寄生的米蛾在 72 h 达到最高值，为 4.323 mg/mL，显示同玉米螟赤眼蜂相比，松毛虫赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂能够更快地分解利用寄主营养。这些结果提示，3 种赤眼蜂利用米蛾卵内营养物质能力的不同导致了米蛾卵对 3 种蜂适合性的不同。

关键词：赤眼蜂；米蛾；适合性；游离氨基酸；寄生行为；寄主营养物质

中图分类号：Q966 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2008)06-0628-07

Suitability of *Corcyra cephalonica* to three trichogramma species and change of the content of free amino acids in its eggs parasitized

LI Yuan-Xi[1,*]，DAI Hua-Guo[1]，FU Wen-Jun[2] (1. Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Disease and Insects，Ministry of Agriculture；Nanjing Agricultural University，Nanjing 210095，China；2. Institute of Plant Physiology and Ecology，Shanghai Institutes for Biological Sciences，Chinese Academy of Sciences，Shanghai 200025，China)

Abstract：The suitability of host to parasitoid could be investigated by observing the parasitizing behavior and the development of parasitoid，and the development of parasitoid was based on the ability of parasitoid in using host nutrients. In order to find the relationship between the suitability of host to trichogramma wasps and the ability of trichogramma wasps in using host nutrient，we investigated the parasitizing behavior，development and survival of *Trichogramma confusum*，*T. dendrolimi*，and *T. ostriniae* on *Corcyra cephalonica*，and measured the content of free amino acids in parasitized and unparasitized host eggs in the laboratory. The results indicated that the oviposization time of *T. ostriniae* was 84.9 s，which was significantly longer than that of *T. dendrolimi* and *T. confusum*. The host-checking time of *T. confusum* was 30.8 s，which was

---

基金项目：国家自然科学基金重点项目(39930030)；南京农业大学青年创新基金(020600206)
作者简介：李元喜，男，1972 年生，河南新蔡人，博士，副教授，研究方向为昆虫生态与害虫综合治理
* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：yxli@njau.edu.cn
收稿日期 Received：2007-10-23；接受日期 Accepted：2008-04-30

significantly longer than that of *T*. *dendrolimi* and *T*. *ostriniae*, but the number of *T*. *confusum* emerged from per host was significantly more than that of *T*. *dendrolimi* and *T*. *ostriniae*. There were no significant differences in developmental duration of egg + larvae, but significant differences were found in developmental duration from egg to adult among three trichogramma species. Both the larva and prepupa mortality rates of *T*. *ostriniae* were significantly higher than those of the correspondent developmental stage of *T*. *confusum* and *T*. *dendrolimi*. These results indicated that the suitability of *C*. *cephalonica* to *T*. *confusum* and *T*. *dendrolimi* were higher than that to *T*. *ostriniae*. The content of total free amino acids in unparasitized *C*. *cephalonica* eggs decreased from 2.194 mg/mL at 24 h to 1.565 mg/mL at 96 h, whereas it increased at first and then decreased in eggs parasitized. The content of total free amino acids in eggs parasitized by *T*. *confusum* and *T*. *dendrolimi* reached the highest values, which were 3.222 mg/mL and 4.239 mg/mL, respectively, at 48 h, and the content of total free amino acids in eggs parasitized by *T*. *ostriniae* reached the highest value, which was 4.323 mg/mL at 72 h after parasitization, indicating that *T*. *confusum* and *T*. *dendrolimi* could degrade and use host nutrients more quickly than *T*. *ostriniae*. These results suggested that the differences in ability of trichogramma in using the host nutrients caused the differences in suitability of *C*. *cephalonica* to three trichogramma species.

Key words: *Trichogramma*; *Corcyra cephalonica*; suitability; free amino acids; parasitizing behavior; host nutrients

寄生蜂在产卵寄生前要检测寄主的适合性(Vinson and Iwantsch, 1980)。对直接产卵于寄主卵内的赤眼蜂 *Trichogramma* spp.,其寄生过程已经有详细的观察报道(刘树生和何俊华,1991;王振营等,1996)。根据寄生过程,对寄主的检测可以分为两步,首先是产卵器插入前对寄主状况的检测,然后是产卵器插入后对寄主生理状况的检测,两次检测都通过了,赤眼蜂才会产卵寄生。影响检测结果的因素很多,寄主方面有卵壳厚度、卵的大小以及卵内物质组成及含量等(Vinson and Iwantsch,1980;巫之馨和钦俊德,1982;侯照远和严福顺,1997;张敏玲,1999)。不同赤眼蜂种(品系)对寄主的要求也不同,对同一种寄主卵,有些赤眼蜂能够成功寄生并完成后代的发育,有些种(品系)的赤眼蜂不能完成后代的发育或者后代完成发育的比例较低,有的种(品系)甚至不产卵寄生。如李元喜等(2002)发现松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 不能成功寄生亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée)卵,而玉米螟赤眼蜂可以成功寄生;孙光芝等(2000)发现黑龙江品系的松毛虫赤眼蜂可以成功寄生亚洲玉米螟卵,而广州品系不能成功寄生。李丽英等(1989)利用人工卵进行的实验也发现,不同种赤眼蜂在同种人工卵内的存活率不同。对于出现这一现象的原因目前还没有明确的结论,一个可能的原因是不同种(品系)赤眼蜂对寄主营养物质的利用能力不同,从而导致即使提供相同的寄主卵或营养物质,仍然出现发育结果不一样的情况。赤眼蜂幼虫发育需要蛋白质,而在利用的过程中,蛋白质首先要被分解成氨基酸。因此,研究被寄生卵内游离氨基酸含量的变化,可以发现赤眼蜂利用寄主营养能力的差异,同时为探讨卵寄生蜂与寄主间的协同进化关系提供有用的信息。在前期的实验过程中,我们发现松毛虫赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂 *T*. *confusum* Viggiani 及玉米螟赤眼蜂 *T*. *ostriniae* Pang *et* Chen 寄生米蛾卵时的产卵行为不同,因此本研究选取这 3 种蜂和米蛾为研究对象,比较 3 种蜂寄生行为并测定寄生发生后寄主卵内游离氨基酸含量的变化,希望从寄生蜂利用寄主营养物质能力的角度探讨寄主与寄生蜂适合性变化的原因。结果报道如下。

1　材料与方法

1.1　供试昆虫

玉米螟赤眼蜂、松毛虫赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂源自华南农业大学。以上 3 种蜂试验前已在室内用米蛾繁殖 10 余代。米蛾源自华南农业大学,室内用麸皮饲养多代。

1.2　寄生行为的观察

将米蛾卵用胶水均匀粘附在九宫格纸(3 cm × 6 cm)上,做成卵卡,待胶干后将卵卡放入长 9.8 cm、口径 3.5 cm 玻璃试管内,引入赤眼蜂雌蜂一头,用 15 瓦冷光源提供光照,在解剖镜下观察赤眼蜂的寄

生行为。从赤眼蜂触角接触卵并进行敲打开始计时,到停止敲打并准备将产卵器插入这一时间段记为寄主检测时间,从产卵器开始插入到拔出这一段时间记为产卵时间,寄生完成后将雌蜂取出,引入一头新的未接触过米蛾卵的雌蜂。每种蜂观察 4 批,每批观察 10~30 头雌蜂。

1.3 寄生蜂发育历期的观察

将米蛾卵用胶水均匀粘附在九宫格纸(3 cm×6 cm)上,做成卵卡,把卵卡放入长 9.8 cm、口径 3.5 cm 玻璃试管内,每管内放一张卵卡,引入羽化 24 h 内经群体交尾后的玉米螟赤眼蜂雌蜂一头,并在管内放置浸过 10%蜂蜜水的脱脂棉球,管口用外包纱布的脱脂棉球封口。然后将玻璃管放入温度 25±1℃,RH 50%~80%,光照 15L:9D 的恒温培养箱中,24 h 后除去雌蜂。部分寄生蜂寄生的卵用来估测赤眼蜂的发育进度,操作程序为:寄生发生 48 h 后,每 12 h 取 30 粒被寄生米蛾卵解剖(若遇到没有被寄生的米蛾卵,则继续取卵直到被寄生卵满 30 粒),参照文献(广东省农业科学院植保所,1979)记录卵内赤眼蜂的发育进度,统计发育进入预蛹期的个体数,到 90% 以上个体发育进入预蛹期时停止检查。每次记录的预蛹数减去上次的蛹数,结果作为新的发育进入预蛹的个体数,若结果为负数,则将上一次的预蛹数减去两次结果的差数,以此方法估计预蛹之前的发育历期。然后每 24 h 检查一次蜂的发育情况,最后解剖剩余米蛾卵,检查是否有死亡赤眼蜂及死亡时期,统计蜂的后代总数及各发育阶段的死亡率。分别用松毛虫赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂代替玉米螟赤眼蜂,按上述方法进行试验。每种赤眼蜂重复观察 30 头以上,每种蜂每批次试验 10 头左右。蜂死亡率按下列公式计算:

蜂死亡率(%)= 死亡赤眼蜂数/总后代数 × 100%

1.4 游离氨基酸含量测定

首先按照 1.1 的方法将新鲜的米蛾卵用胶水均匀粘附在九宫格纸上,然后大量接赤眼蜂,3 h 后去除所有赤眼蜂。每 24 h 取样一次,方法为用湿的软毛笔刷取卵,在万分之一电子天平上分别称取去卵前后卵卡的质量,计算出取样卵质量。用玻璃匀浆器在冰水条件下将卵匀浆,匀浆液转入 1.5 mL Eppendorf 管内进行低温离心,取上清液保存在 -70℃冰箱中备用。每种蜂寄生的米蛾卵按照寄生发生后 24,48,72,96 h 进行取样,以未被寄生的米蛾卵为对照,采用日立 835-50 型氨基酸分析仪测定各游离氨基酸含量。被拟澳洲赤眼蜂、松毛虫赤眼蜂、玉米螟赤眼蜂寄生及未被寄生米蛾卵分别简称为 Tc,Td,To 和 CC,后加数据表示取样时间,如 Tc24 表示取样时间为寄生发生后 24 h。

1.5 数据处理

由于蜂的检测时间和产卵寄生时间间无线性相关关系[对观测到的部分数据利用 EXCEL 软件的相关分析模块进行分析的结果为,拟澳洲赤眼蜂、松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂 3 种蜂检测时间(X)和产卵时间(Y)之间的相关系数分别为 0.1134,0.1106 和 0.0453],因此,对部分蜂连续观察记录了寄主检测时间和产卵时间,部分蜂只观察了寄主检测时间或产卵时间。除百分数外的数据利用 SAS 9.0 的 GLM 模型进行统计分析,对差异显著的平均数用 Tukey HSD 测验比较显著性(SAS Institute, 2005)。在 EXCEL 软件中用 U 测验方法比较 3 种蜂死亡率间的差异显著性,运用 EXCEL 的计算功能编写公式计算各氨基酸含量与游离氨基酸总量间的相关系数。

2 结果与分析

2.1 赤眼蜂的寄生行为

引入指形管内的赤眼蜂一旦接触到卵卡,则开始出现兴奋反应,行走速度加快,触角不断敲击,碰到米蛾卵则迅速攀爬到卵上,往返用触角敲击卵表面,同时转动身体方向,一般在 30 s 的时间内完成对寄主卵的检测。3 种蜂的检测行为基本一致,但完成寄主卵检测所花时间存在差异($F = 10.70$, $df = 2, 177$; $P < 0.001$),以拟澳洲赤眼蜂所花时间最长,松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂所花时间最短,后两者间没有显著差异(表 1)。检测完成后,如果产卵寄生,则赤眼蜂一般选择卵中部侧面作为产卵器插入点,首先抬起腹部,伸出产卵器刺向卵表,然后腹部左右转动同时下压将产卵器插入寄主卵内。停留片刻后,腹部微微抬起,然后拔出产卵器,这一过程耗时大约 60 s 左右,不同种蜂所用时间也不同。玉米螟赤眼蜂花费的产卵时间最长,松毛虫赤眼蜂产卵时间最短,三者间存在显著差异($F = 34.10$, $df = 2, 324$; $P < 0.001$)。对单头蜂从检测寄主卵开始直到产卵行为结束为止的统计结果表明,松毛虫赤眼蜂所花费总时间显著短于拟澳洲赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂,而后两者间没有显著差异($F = 11.66$, $df = 2, 169$; $P < 0.001$)。产卵行为结束

后，有部分蜂出现取食寄主卵液的现象。

表 1　赤眼蜂的寄主检测时间和产卵寄生时间（平均值 ± *SE*）

Table 1　Host checking and ovipositing time of trichogramma wasps（Mean ± *SE*）

蜂种 Species	检查时间(s) Checking time	产卵时间(s) Ovipositing time	总时间 (s) Total time
玉米螟赤眼蜂 *T. ostriniae*（To）	20.4 ± 2.3（85）b	84.9 ± 4.4（108）a	108.5 ± 5.9（81）a
拟澳洲赤眼蜂 *T. confusum*（Tc）	30.8 ± 3.0（39）a	64.8 ± 3.7（98）b	97.0 ± 7.4（36）a
松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi*（Td）	23.9 ± 0.9（56）b	44.6 ± 2.3（121）c	70.5 ± 4.1（55）b

括号内数字为观察蜂数。同一列平均数后字母不同表示差异显著（$P < 0.05$；Tukey HSD 测验）。表 2 同。Data in brackets mean numbers of wasp observed. Data in same column followed by different letters are significantly different（$P < 0.05$；Tukey HSD-test）. The same for Table 2.

2.2　赤眼蜂发育历期

3 种赤眼蜂卵 + 幼虫的发育历期间无显著差异（$F = 1.24$，$df = 2, 89$；$P = 0.293$），虽然 3 种赤眼蜂卵-成虫的发育历期间存在显著差异（$F = 26.21$，$df = 2, 1417$；$P < 0.001$），但相差最多时间为玉米螟赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂之间，平均发育时间分别为 10.8 d 和 10.4 d（表 2）。平均每粒寄主卵羽化出蜂数以拟澳洲赤眼蜂为高，达 1.13 头蜂每寄主卵，显著高于玉米螟赤眼蜂和拟澳洲赤眼蜂寄生的结果，后两者间没有显著差异（$F = 6.89$，$df = 2, 98$；$P < 0.002$）（表 2）。

表 2　赤眼蜂发育历期(d)及每寄主羽化出蜂数(平均值 ± *SE*)

Table 2　Developmental duration of trichogramma wasps and number of wasps emerged per host（Mean ± *SE*）

蜂种 Species	发育历期 Developmental duration (d) 卵 + 幼虫 Egg + Larva	卵 – 成虫 Egg – adult	每寄主羽化蜂数 Number of wasps emerged per host
玉米螟赤眼蜂 *T. ostriniae*（To）	3.4 ± 0.1（29）a	10.8 ± 0.03（465）a	1.07 ± 0.02 B
拟澳洲赤眼蜂 *T. confusum*（Tc）	3.2 ± 0.1（32）a	10.4 ± 0.03（286）c	1.13 ± 0.02 A
松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi*（Td）	3.4 ± 0.1（31）a	10.6 ± 0.04（669）b	1.07 ± 0.01 B

2.3　赤眼蜂死亡率

表 3 列出了赤眼蜂在不同发育阶段的死亡数量及占总后代数量的百分比。其中玉米螟赤眼蜂未完成发育的比例较高，且子代蜂主要死亡于蛹期以前，而另外两种蜂的子代蜂死亡率在蛹期较高。赤眼蜂的总死亡率在 3 种蜂之间也存在显著差异，其中以玉米螟赤眼蜂的死亡率为最高，产生差异的主要原因是由于在蜂幼虫期和预蛹期的死亡率显著高于同期其他两种蜂的死亡率造成的（表 3）。

表 3　赤眼蜂不同发育阶段的死亡率（%）

Table 3　Mortalities（%）of trichogramma wasps at different developmental stages

蜂种 Species	幼虫期 Larva stage	预蛹期 Prepupa stage	蛹期 Pupa stage	总死亡率 (%) Total mortality
玉米螟赤眼蜂 *T. ostriniae*（Tc）	1.39（20）a	5.34（77）a	3.19（46）a	9.91（143）a
拟澳洲赤眼蜂 *T. confusum*（Tc）	0.47（8）b	2.73（46）b	4.09（69）a	7.29（123）b
松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi*（Td）	0.66（13）b	3.73（73）b	3.99（78）a	8.38（164）ab

括号内数字表示各重复死亡总蜂数。同一列数据后字母不同表示差异显著（$P < 0.05$，U-test）。Data in brackets are total dead wasps in all replications. Data in the same column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$（U-test）.

2.4　米蛾卵内游离氨基酸总量的变化（图 1）

在 24 h，未被寄生和被寄生米蛾卵内游离氨基酸总量基本在 2.0 mg/mL 左右（CC：2.194 ± 0.243；Tc：1.694 ± 0.747；Td：1.587 ± 0.457；To：1.674 ± 0.732），但变化趋势在不同阶段表现不同。未被寄生米蛾卵内游离氨基酸总量在 24 ~ 96 h 时间段缓慢下降，而被寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量出现先升高后下降的现象，且变化节律在 3 种被寄生卵间不同。松毛虫赤眼蜂寄生卵内和拟澳洲赤眼蜂寄生卵内游离氨基酸含量在 48 h 达到峰值，且松毛虫赤眼蜂寄生处理卵内的游离氨基酸含量高于同期拟澳洲赤眼蜂寄生米蛾卵内游离氨基酸含量（$t = 3.79 > t_{0.05, 4} = 2.78$），而玉米螟赤眼蜂寄生卵在 72 h 达到峰值。同 24 h 时相比，被寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量在 48 h 时均有增加现象，但在 48 ~ 72 h，在被拟澳洲赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂寄生的米蛾卵内，游离氨基酸总量呈下降趋势，拟澳洲赤眼蜂寄生过的米蛾卵内游离氨基酸总量下降尤其明显，而被玉米螟赤眼蜂寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量却上升，在 96 h 时，被寄生和未被寄生米蛾卵内游离氨基酸总量趋近一致（CC：1.565 ± 0.527；Tc：1.257 ± 0.432；Td：1.375 ± 0.854；To：2.343 ± 0.800）。

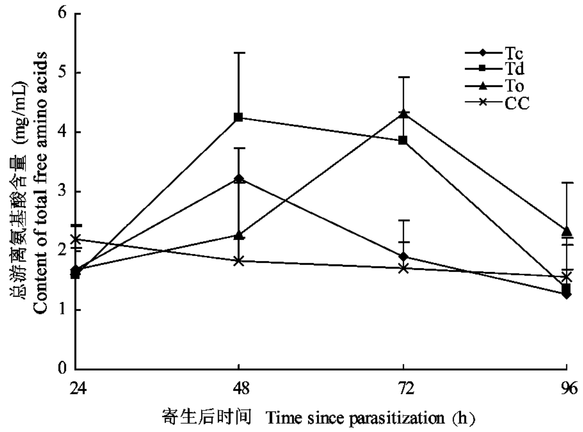

图 1 被寄生和未被寄生米蛾卵内游离氨基酸总量(示标准差)的变化

Fig. 1 Changes of the content of total free amino acids (indicating *SD*) in parasitized and unparasitized *C*. *cephalonica* eggs

2.5 游离氨基酸含量的变化

游离氨基酸含量因处理卵及氨基酸种类不同而存在差异,总体以苏氨酸、谷氨酸、鸟氨酸、脯氨酸的含量较高,蛋氨酸和胱氨酸含量较低(表 4)。游离氨基酸含量随时间变化的幅度也因处理卵不同而有差异,总体以被寄生米蛾卵内游离氨基酸含量的变化幅度较大,且变化幅度较大的氨基酸种类较多。不同处理卵内各游离氨基酸含量随时间的变化趋势与游离氨基酸总量的变化趋势基本一致,但相关程度有差别(表 5)。在被拟澳洲赤眼蜂寄生的米蛾卵中,与游离氨基酸总量相关系数达到 0.98 以上的游离氨基酸有 2 种,在被松毛虫赤眼蜂寄生的米蛾卵中有 6 种,在被玉米螟赤眼蜂寄生的米蛾卵中有 9 种。

表 4 不同取样时间被寄生和未被寄生米蛾卵内游离氨基酸含量(平均数)(mg/mL)

Table 4 Content of free amino acid in parasitized and unparasitized *C*. *cephalonica* eggs sampled at different time (mean) (mg/mL)

氨基酸 Amino acid	被拟澳洲赤眼蜂寄生卵 Eggs parasitized by *T*. *confusum* (Tc)				被松毛虫赤眼蜂寄生卵 Eggs parasitized by *T*. *dendrolimi* (Td))				被玉米螟赤眼蜂寄生卵 Eggs parasitized by *T*. *ostriniae* (To)				未被寄生卵 Eggs unparasitized (CC)			
	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h
天冬氨酸 Asp	—*	0.051	0.045	0.014	0.004	0.075	0.094	0.025	0.018	0.049	0.056	0.067	–	–	–	0.003
苏氨酸 Thr	0.269	0.437	0.193	0.117	0.280	0.447	0.271	0.066	0.289	0.319	0.409	0.178	0.178	0.132	0.150	0.142
丝氨酸 Ser	0.096	0.148	0.095	0.068	0.062	0.175	0.158	0.050	0.092	0.109	0.209	0.112	0.088	0.07	0.082	0.077
谷氨酸 Glu	0.238	0.344	0.192	0.165	0.237	0.362	0.338	0.127	0.236	0.215	0.375	0.216	0.378	0.248	0.210	0.197
甘氨酸 Gly	0.044	0.119	0.072	0.039	0.045	0.146	0.207	0.043	0.043	0.081	0.145	0.084	0.054	0.052	0.06	0.052
丙氨酸 Ala	0.114	0.180	0.106	0.094	0.081	0.222	0.177	0.077	0.065	0.115	0.244	0.134	0.28	0.202	0.184	0.184
胱氨酸 Cys	0.016	0.022	0.021	0.017	0.011	0.046	0.047	0.029	0.030	0.031	0.053	0.023	0.026	0.032	0.028	0.018
缬氨酸 Val	0.065	0.111	0.085	0.066	0.041	0.168	0.174	0.059	0.068	0.095	0.201	0.103	0.070	0.116	0.116	0.083
蛋氨酸 Met	0.042	0.042	0.035	0.035	0.020	0.081	0.079	0.051	0.055	0.054	0.106	0.046	0.068	0.080	0.050	0.032
异亮氨酸 Ile	0.047	0.088	0.068	0.045	0.033	0.136	0.140	0.043	0.049	0.072	0.178	0.081	0.046	0.060	0.070	0.051
亮氨酸 Leu	0.065	0.132	0.106	0.066	0.043	0.205	0.219	0.061	0.064	0.108	0.286	0.125	0.052	0.064	0.072	0.080
酪氨酸 Tyr	0.048	0.145	0.095	0.054	0.051	0.209	0.235	0.073	0.084	0.130	0.237	0.116	0.140	0.124	–	0.010
苯丙氨酸 Phe	0.043	0.074	0.063	0.044	0.030	0.108	0.125	0.042	0.044	0.060	0.144	0.071	0.038	0.058	0.058	0.049
鸟氨酸 Orn	0.186	0.342	0.099	0.023	0.274	0.544	0.301	0.094	0.161	0.185	0.198	0.071	0.256	0.124	0.088	0.034
赖氨酸 Lys	0.113	0.250	0.171	0.086	0.118	0.379	0.385	0.100	0.111	0.178	0.419	0.216	0.168	0.076	0.084	0.095
组氨酸 His	0.111	0.203	0.117	0.123	0.115	0.226	0.228	0.099	0.100	0.137	0.233	0.182	0.164	0.178	0.192	0.173
精氨酸 Arg	0.109	0.192	0.132	0.107	0.076	0.254	0.225	0.055	0.126	0.188	0.326	0.144	0.020	0.070	0.130	0.1655
脯氨酸 Pro	0.088	0.342	0.213	0.093	0.066	0.459	0.458	0.285	0.096	0.144	0.404	0.373	0.168	0.138	0.138	0.122

–:表示没有检测到 The amino acid content was too low to be detected.

3 讨论

检测时间和产卵时间在一定程度上反映了寄主的适合性,时间越短,表明寄主卵适合性越高。对于产卵时间,刘树生和何俊华(1991)和张敏玲(1999)分别报道了松毛虫赤眼蜂、拟澳洲赤眼蜂以米蛾卵为寄主的情况,本试验与以上作者研究结果接近。本研究观察的 3 种赤眼蜂中,松毛虫赤眼蜂花费时间最少,包括对寄主卵的检测时间、产卵时间,表明松毛虫赤眼蜂较快地识别寄主是否适合产卵寄生。拟澳洲赤眼蜂花费总时间和玉米螟赤眼蜂间无显著差异,原因可能是部分拟澳洲赤眼蜂在一个寄主卵内产下了多于一粒的蜂卵(表 2),从而延长了产卵时间。因此,从产卵寄生花费时间来看,米蛾卵对松毛虫赤眼蜂及拟澳洲赤眼蜂的适合性较好,对玉米螟赤眼蜂的适合性较差,寄生发生后寄生蜂的死亡率数据也验证了这一结果(表 3)。

表 5　不同处理卵内各游离氨基酸含量与游离氨基酸总量间的相关系数

Table 5　Correlation coefficients for each free amino acid content and total free amino acid content in different treatments

氨基酸 Amino acid	被拟澳洲赤眼蜂寄生卵 Eggs parasitized by *T. confusum*（Tc）	被松毛虫赤眼蜂寄生卵 Eggs parasitized by *T. dendrolimi*（Td）	被玉米螟赤眼蜂寄生卵 Eggs parasitized by *T. ostriniae*（To）	未被寄生卵 Eggs unparasitized（CC）
天冬氨酸 Asp	–	0.9238	0.4956	–
苏氨酸 Thr	0.9396	0.7636	0.6771	0.7860
丝氨酸 Ser	0.9896	0.9998	0.9955	0.5710
谷氨酸 Glu	0.9418	0.9306	0.9251	0.9837
甘氨酸 Gly	0.9765	0.9128	0.9801	–0.0503
丙氨酸 Ala	0.9759	0.9880	0.9900	0.9632
胱氨酸 Cys	0.7732	0.8638	0.8888	0.4012
缬氨酸 Val	0.9570	0.9778	0.9995	–0.4500
蛋氨酸 Met	0.5861	0.8702	0.9315	0.6706
异亮氨酸 Ile	0.9429	0.9836	0.9989	–0.4666
亮氨酸 Leu	0.9053	0.9766	0.9990	–0.9859
酪氨酸 Tyr	0.9376	0.9646	0.9934	–
苯丙氨酸 Phe	0.8969	0.9564	0.9961	–0.6630
鸟氨酸 Orn	0.9258	0.8178	0.4079	0.9999
赖氨酸 Lys	0.9702	0.9927	0.9947	0.8302
组氨酸 His	0.9194	0.9928	0.9173	–0.5784
精氨酸 Arg	0.9814	0.9995	0.9738	–0.9621
脯氨酸 Pro	0.9428	0.8434	0.7565	0.9849

–：数据不可用 Data are not available.

Thompson（1976）、谢中能（1982）、巫之馨和钦俊德（1982）、黄寿山等（1995）等都讨论过寄主或人工培养液游离氨基酸含量与寄生蜂发育的关系。谢中能（1982）和黄寿山等（1995）等认为寄主卵氨基酸的组成及含量和其对寄生蜂的适合性无直接关系，而Thompson（1976）发现如果降低培养液氨基酸含量，具瘤爱姬蜂 *Exeristes roborator*（Fabricius）的发育速度会下降，表明氨基酸的含量会影响寄生蜂的发育。25℃条件下，赤眼蜂卵产入寄主卵后，幼虫经 24 h 孵化，再经过 24～48 h 的发育进入预蛹期，因此，赤眼蜂利用寄主卵内营养物质的活动主要发生在寄生发生后 24～72 h，此后则是赤眼蜂对吸收到体内的物质进行再分配，完成从预蛹到蛹然后到成虫的发育过程。蛋白质在被吸收利用前首先要被分解成氨基酸，因此寄生发生后 24～72 h 这一阶段时间内被寄生米蛾卵内游离氨基酸含量的变化在一定程度上反映出赤眼蜂利用寄主营养的能力。在寄生发生后 48 h 时，被松毛虫赤眼蜂寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量高于被拟澳洲赤眼蜂寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量（图 1），显示松毛虫赤眼蜂对寄主营养物质的应用能力强于拟澳洲赤眼蜂。被玉米螟赤眼蜂寄生的米蛾卵内游离氨基酸总量的高峰出现在 72 h，迟于被松毛虫赤眼蜂或拟澳洲赤眼蜂寄生的米蛾卵内游离氨基酸含量高峰出现的时间，表明玉米螟赤眼蜂幼虫孵化后不能很快利用寄主营养，反映出与米蛾卵之间的适合性较低。这一结果和寄生过程所花费时间以及卵和幼虫期死亡率所体现出来的适合性结果一致。

寄生发生后 96 h 时，游离氨基酸总量也下降到低点，这一结果和赤眼蜂的发育一致，因为此时赤眼蜂已经完成了幼虫期的发育，对寄主蛋白质的利用已经完成。而之前游离氨基酸总量的变化反映的应该是寄生蜂吸收利用寄主营养的过程，某种游离氨基酸含量的变化如果和游离氨基酸总量变化高度相关则说明赤眼蜂发育过程中对该种氨基酸的依赖程度较高。相关系数的计算结果显示，和松毛虫赤眼蜂及拟澳洲赤眼蜂相比，玉米螟赤眼蜂发育的过程中，与游离氨基酸总量相关程度较高的游离氨基酸种类较多。如果以 0.99 作为划分标准，松毛虫赤眼蜂发育过程中，与游离氨基酸总量相关的氨基酸有 4 种，而玉米螟赤眼蜂处理中，这样的氨基酸有 8 种（表 5）。但这种高度相关是由于赤眼蜂分解寄主营养物质的能力有限还是由于赤眼蜂对该种氨基酸需要量大造成的尚需进一步的研究。在各被寄生卵中，含量相对较高的苏氨酸、谷氨酸、鸟氨酸、脯氨酸等 4 种氨基酸和游离氨基酸总量的相关系数相对都比较小，而在未被寄生的米蛾卵中，后 3 种氨基酸和游离氨基酸总量的相关系数均在 0.98 以上，反映出米蛾胚胎发育和赤眼蜂发育主要利用的氨基酸种类有所不同。有些氨基酸含量在赤眼蜂发育过程中变

化幅度较大(表 4),表明赤眼蜂在发育的过程中对这些氨基酸的需求存在阶段性,即在某一发育阶段需要量较高。目前,对于每一种氨基酸在赤眼蜂个体发育阶段中具体起什么作用还不清楚,如果明确每种氨基酸的作用,对于以后开展人工寄主卵配方,特别是针对不同种赤眼蜂的人工寄主卵配方的研制将产生促进作用。而对赤眼蜂发育过程中对寄主营养物质分解过程的研究将有助于从生理机制上理解寄主与寄生蜂的协同进化关系。

参 考 文 献 (References)

Hou ZY, Yan FS, 1997. Progress in the study on host selection behaviors of parasitic wasps. *Acta Entomologica Sinica*, 40(1):94–107. [侯照远,严福顺,1997. 寄生蜂寄主选择行为研究进展. 昆虫学报,40(1):94–107]

Huang SS, Xie QB, Dai ZY, 1995. Studies on host choice of *Trichogramma* spp. and its mechanism (Ⅲ): Analysis of physiological and biochemical mechanism. *Natural Enemies of Insects*, 17(3):106–108. [黄寿山,解庆镔,戴志一,1995. 赤眼蜂寄主选择性及其机理研究(Ⅲ):生理生化机制分析. 昆虫天敌,17(3):106–108]

Institute of Plant Protection of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Zhongshan University, 1987. Biology and ecology characteristic of *Trichogramma*. In: Qiu SB, Bao JZ *et al*. eds. Proceedings of Symposium on *Trichogramma* in China. China Agriculture Press, Beijing. 72–80. [广东省农业科学院植保所,中山大学,1987. 赤眼蜂的生物学及生态学特性. 见:邱式邦,包建中等主编. 中国赤眼蜂论文集. 北京:农业出版社. 72–80]

Li LY, Chen QX, Liu WH, 1989. Oviposition behavior of twelve species of *Trichogramma* and its influence on the efficiency of rearing them *in vitro*. *Natural Enemies of Insects*, 11(1):31–35. [李丽英,陈巧贤,刘文惠,1989. 十二种赤眼蜂的产卵行为及其与体外培育成功率的关系. 昆虫天敌,11(1):31–35]

Li YX, Dai HG, Jiang JL, Fu WJ, Sun ZC, 2002. Comparison study of suitability of *Ostrinia furnacalis* eggs for three *Trichogramma* species. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 25(1):35–38. [李元喜,戴华国,姜金林,符文俊,孙智婵,2002. 亚洲玉米螟卵对 3 种赤眼蜂的适合性比较. 南京农业大学学报,25(1):35–38]

Liu SS, He JH, 1991. Observations on the oviposition behaviour of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura. *Entomological Knowledge*, 28(2):103–105. [刘树生,何俊华,1991. 松毛虫赤眼蜂产卵行为观察. 昆虫知识,28(2):103–105]

SAS Institute, 2005. The SAS system for Windows, release 9.0. Cary, NC, USA.

Sun GZ, Zhang F, Shi ZH, Liu BG, Wang SH, Ruan CC, 2000. Parasitizing ability of *Trichogramma* on *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 22(2):26–29. [孙光芝,张帆,施祖华,刘宝国,王少华,阮长春,2000. 赤眼蜂寄生亚洲玉米螟的潜能比较. 吉林农业大学学报,22(2):26–29]

Thompson SN, 1976. Effects of dietary amino acid level and nutritional balance on larval survival and development of the parasite *Exeristes roborator*. *Annals of Entomological Society of America*, 69:835–838.

Vinson SB, Iwantsch GF, 1980. Host suitablility for insect parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 25:397–419.

Wang ZY, Zhou DR, Hassan SA, 1996. Ovipositional behaviour of *Trichogramma ostriniae*. *Chinese Journal of Biological Control*, 12(4):145–149. [王振营,周大荣,Hassan SA,1996. 玉米螟赤眼蜂的产卵行为研究. 中国生物防治,12(4):145–149]

Wu ZX, Qin JD, 1982. Ovipositional response of *Trichogramma dendrolimi* to the chemical contents of artificial eggs. *Acta Entomologica Sinica*, 25(4):363–372. [巫之馨,钦俊德,1982. 松毛虫赤眼蜂对假卵不同内含物的产卵反应. 昆虫学报,25(4):363–372]

Xie ZN, Wu PY, Deng XL, 1982. Analysis of content of amino acids in host eggs of *Trichogramma*. *Natural Enemies of Insect*, 4(2):22–25. [谢中能,吴屏英,邓秀莲,1982. 赤眼蜂寄主卵的氨基酸含量分析. 昆虫天敌,4(2):22–25]

Zhang ML, 1999. The influence of the thickness of host eggs chorion on the longevity and fecundity of *Trichogramma confusum*. *Natural Enemies of Insect*, 21(4):135–136. [张敏玲,1999. 寄主卵壳厚度对拟澳洲赤眼蜂寿命和产卵量的影响. 昆虫天敌,21(4):135–136]

(责任编辑:袁德成)